

## KEHANDALAN DAYA DUKUNGAKSIAL TIANG PANCANG BETON SEGI EMPAT BERDASARKAN HASIL SPT DAN PDA

Yusti Yudiawati

Dosen Politeknik Negeri Banjarmasin  
Senior Engineer PT.Kalimantan Concrete Engineering dan PT.Kalimantan Soil Engineering

### Abstrak

Besarnya biaya pondasi sangat ditentukan pada keputusan saat pemilihan dimensi tiang pancang. Penentuan dimensi tiang selain didasarkan oleh evaluasi daya dukung tiang berdasarkan uji tanah perlu sekali dievaluasi terhadap hasil-hasil uji tiang di lapangan untuk memastikan kehandalan daya dukung pondasi tiang yang dipilih. Selama ini para perencana lebih memilih menggunakan tiang bulat dibandingkan tiang persegi dengan alasan dianggap lebih murah dan lebih handal daya dukungnya. Kenyataan di lapangan membuktikan tiang segiempat menghasilkan daya dukung tiang ultimit yang jauh lebih besar daripada tiang bulat sehingga dengan dimensi yang lebih kecil akan dihasilkan daya dukung ultimit yang setara dengan dimensi tiang bulat yang jauh lebih besar. Hasil uji PDA pada tiang 400x400 di Banjarmasin mencapai >400 ton atau 2,7 kali lebih besar daripada perkiraan daya dukung berdasarkan SPT sebesar 159,98 ton. Untuk daerah Banjarbaru hasil PDA test mencapai >300 ton atau 1,5 kali lebih besar dari perhitungan SPT sebesar 222.50 ton. Hasil uji PDA tiang 400x400 jika dibanding tiang diameter 400 memberikan hasil 3,2 kali lebih besar daya dukung ultimitnya. Daya dukung *end bearing* hasil PDA tes tiang diameter 400 setara dengan tiang 250x250. Hal ini tentunya akan sangat mengefisienkan jumlah titik pancang serta besarnya biaya pondasi.

Kata kunci: daya dukung ultimit, tiang *end bearing*, penampang segi empat, penampang bulat, SPT, PDA

### Pendahuluan

Salah satu kegunaan pondasi tiang pancang adalah untuk mentransfer beban dari struktur atas ke lapisan tanah yang cukup kuat untuk mendukungnya. Besarnya kemampuan tiang untuk menerima beban disebut dengan kapasitas dukung tiang yang tergantung dari jenis dan kekuatan pada masing-masing lapisan tanah serta besarnya dimensi tiang. Penentuan dimensi tiang umumnya dilakukan setelah diketahui besar beban yang akan diterima tiang kemudian dihitung kapasitas dukung beberapa alternatif dimensi tiang untuk mengetahui besarnya daya dukung masing-masing tiang. Setelah didapatkan alternatif beberapa dimensi tiang dilanjutkan dengan perhitungan biaya pondasi untuk memilih desain mana yang memenuhi persyaratan teknis dan biaya yang paling ekonomis.

Penentuan dimensi tiang selain didasarkan oleh evaluasi daya dukung tiang berdasarkan uji tanah perlu sekali dievaluasi terhadap hasil-hasil uji tiang di lapangan untuk memastikan kehandalan daya dukung pondasi tiang yang

dipilih. Analisa data berdasarkan pengalaman pengujian lapangan ini dapat menjadi dasar dalam memilih dimensi pondasi tiang yang lebih ekonomis.

Selama ini para perencana lebih senang memilih menggunakan tiang bulat dibandingkan tiang persegi dengan alasan dianggap lebih murah dan lebih handal daya dukungnya. Kenyataan di lapangan membuktikan tiang segiempat menghasilkan daya dukung tiang ultimit yang jauh lebih besar daripada tiang bulat sehingga dengan dimensi yang lebih kecil akan dihasilkan daya dukung ultimit yang setara dengan dimensi tiang bulat yang jauh lebih besar. Hal ini tentunya akan sangat mengefisienkan jumlah titik pancang serta besarnya biaya pondasi.

### Tinjauan Pustaka

Tomlinson (1957) menyatakan daya dukung ultimit pondasi tiang adalah tahanan ujung tiang ditambah jumlah tahanan geser dinding tiang. Kapasitas ujung tiang tergantung

pada luas penampang ujung tiang dan kapasitas geser selimut tiang tergantung luas selimut tiang.

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- $Q_u$  = kapasitas ultimit tiang (ton)
- $Q_b$  = kapasitas ujung tiang (ton)
- $Q_s$  = kapasitas geser selimut tiang (ton)

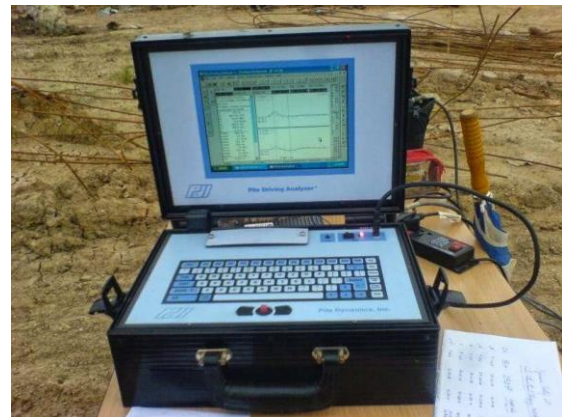
Salah satu metoda untuk menentukan daya dukung tiang berdasarkan data SPT dapat menggunakan rumusan Meyerhoff (1956) atau Schmertmann (1967). Meyerhoff (1956) menganjurkan formula daya dukung ultimit tiang pancang sebagai berikut:

$$Q_{ult} = 40 \cdot N_b \cdot A_p + 0,2 \cdot N \cdot A_s \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- $Q_u$  = daya dukung ultimit pondasi tiang (ton)
- $N_b$  = nilai  $N_{SPT}$  pada elevasi dasar tiang
- $A_p$  = luas penampang dasar tiang ( $m^2$ )
- $A_s$  = luas selimut tiang ( $m^2$ )
- $N$  = nilai  $N_{SPT}$  rata-rata sepanjang tiang

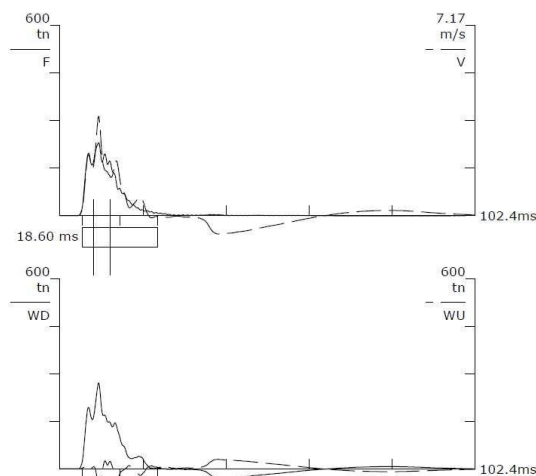
*Pile Driving Analyzer*(PDA) adalah suatu sistem yang terdiri dari suatu perangkat elektronik komputer dan dilengkapi dengan sensor *accelerometer* dan *strain transducer* (Gambar 1). Pengujian PDA merupakan pengujian dinamis dengan memasang 2 sensor pengukur regangan dan 2 sensor pengukur percepatan di dekat kepala tiang selama proses pengujian. Sensor-sensor tersebut dihubungkan dengan komputer *Pile Driving Analyzer* model PAX melalui peralatan *wireless*.



Gambar 1. Alat uji PDA

PDA didasarkan pada analisis data hasil rekaman getaran gelombang yang terjadi pada waktu tiang dipukul dengan palu pancang. Regangan dan percepatan gelombang akibat *impact* alat pancang diukur dengan menggunakan *strain transducer* dan *accelerometer*. Hasil pengukuran regangan dan percepatan diperlukan untuk memperkirakan daya dukung tiang melalui perhitungan CAPWAP dengan menggunakan teori perambatan gelombang satu dimensi. CAPWAP adalah program aplikasi pencocokan sinyal dengan mengembangkan pemodelan tanah berdasarkan metode Smith (1960) dan pemodelan pondasi tiang menerus (*continuous*).

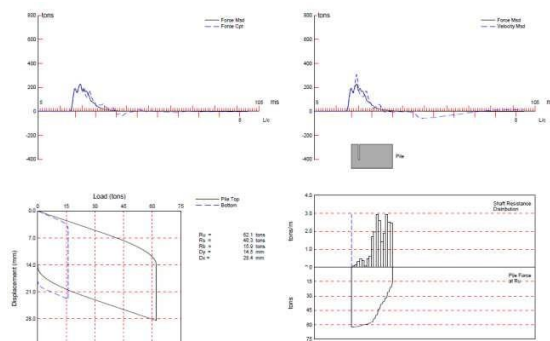
Prosedur pengujian dilakukan sesuai ASTM D 4945-96. Tiang yang diuji sudah keadaan terpancang, pengujian dilakukan dengan *restrike* atau *redrive*. *Restrike* dihentikan setelah diperoleh kualitas rekaman yang cukup baik dan energi pukulan relatif yang cukup tinggi. Analisis lanjutan dengan menggunakan CAPWAP.



Gambar 2. Pile Driving Analyzer

Tabel 1. Keluaran PDA

No. Tiang Pile No.	CAPWAP			
	Daya Dukung Total Bearing Capacity (ton)	Day Dukung Friksi Friction Capacity (ton)	Daya Dukung Ujung End-bearing Capacity (ton)	Penurunan Settlement (mm)
P61A AS4A	62.1	46.3	15.9	28.4



Gambar 3. Hasil CAPWAP

Keluaran hasil dari pengujian tiang (*output*) PDA adalah Jumlah pukulan (BN); Daya dukung tiang (RSU); Gaya tekan maksimum (FMX); Energi maksimum yang ditransfer (EMX); Nilai keruntuhan (BTA); Jumlah pukulan permenit (BPM); Panjang tiang tertanam (LP); Panjang tiang di bawah instrument (LE). Contoh hasil PDA dapat dilihat pada Tabel 1. Analisis menggunakan CAPWAP akan menghasilkan Daya dukung (Ru); Gaya ujung (Rb); Gaya gesek (Rs); Displacement (DMX) seperti terlihat pada Gambar 3.

## Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dengan studi literatur dan analisa terhadap data uji tanah dan data PDA test. Analisa yang dilakukan terhadap beberapa dimensi tiang penampang bulat dan segi empat pada beberapa lokasi di Banjarmasin yang melakukan pengujian SPT dan PDA test pada pelaksanaan pondasinya.

## Hasil dan Pembahasan

Perbandingan luas tiang penampang persegi dengan penampang bulat dan keliling tiang seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil evaluasi dimensi tiang seperti analisa diameter 500 mm dengan segiempat 400x400 mm menunjukkan pada tiang penampang bulat luas penampang lebih besar daripada tiang segi empat tetapi luas selimut tiang segiempat lebih besar daripada tiang bulat. Pada kapasitas dukung tiang, luas penampang ujung akan tetap besarnya sebarangapun besar panjang tiang tertanam.

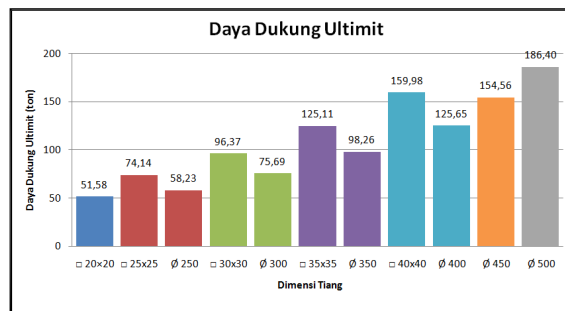
Tabel 2. Luas penampang dan selimut tiang (cm<sup>2</sup>)

Penampang Tiang	Dimensi	Luas (cm <sup>2</sup> )	
		penampang (cm <sup>2</sup> )	selimut tiang per m
Bulat	dia 500 mm	1962.50	15700.00
Segi empat	400 x 400	1600.00	16000.00
Bulat	dia 450 mm	1589.63	14130.00
Segi empat	350 x 350	1225.00	14000.00
Bulat	dia 400 mm	1256.00	12560.00
Segi empat	300 x 300	900.00	12000.00
Bulat	dia 350 mm	961.63	10990.00
Segi empat	250 x 250	625.00	10000.00
Bulat	dia 300 mm	706.50	9420.00
Segi empat	200 x 200	400.00	8000.00
Bulat	dia 250 mm	490.63	7850.00

Sebaliknya pada daya dukung selimut tiang semakin besar tiang tertanam maka semakin besar pula luas selimut tiang. Pada tiang yang memiliki panjang tertanam cukup besar, pemilihan tiang segiempat akan jauh lebih menguntungkan karena akan meningkatkan daya dukung selimut tiang yang umumnya lebih besar daripada daya dukung ujung tiang.

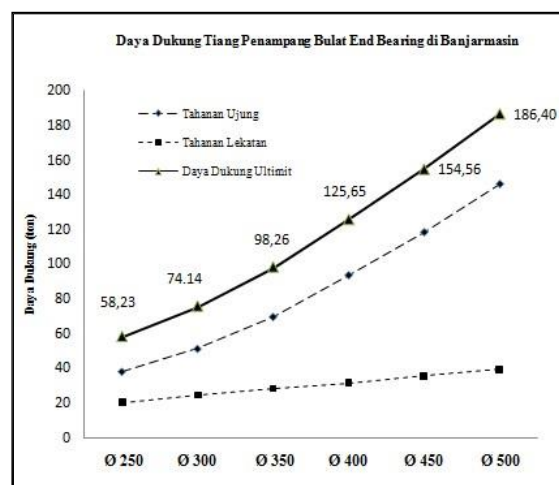
## Analisa Kapasitas Dukung Tiang Pancang Di Banjarmasin Dan Sekitarnya

Dari analisa perhitungan SPT di salah satu lokasi di Banjarmasin dihasilkan kapasitas dukung tiang seperti ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



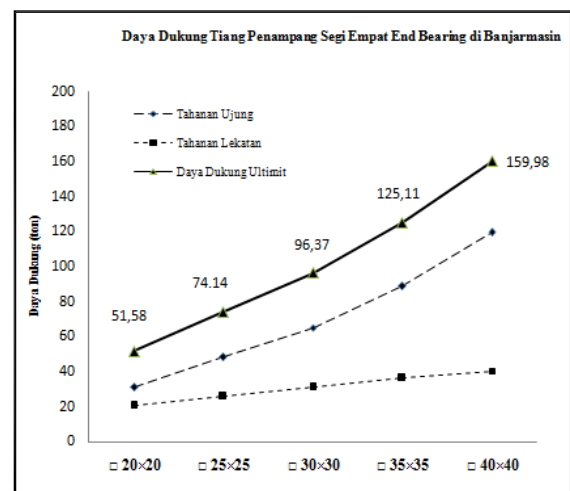
Gambar 4. Daya Dukung Tiang Ultimit  
(Sumber: PT.Kalimantan Soil Engineering, 2015)

Jika disajikan dalam grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



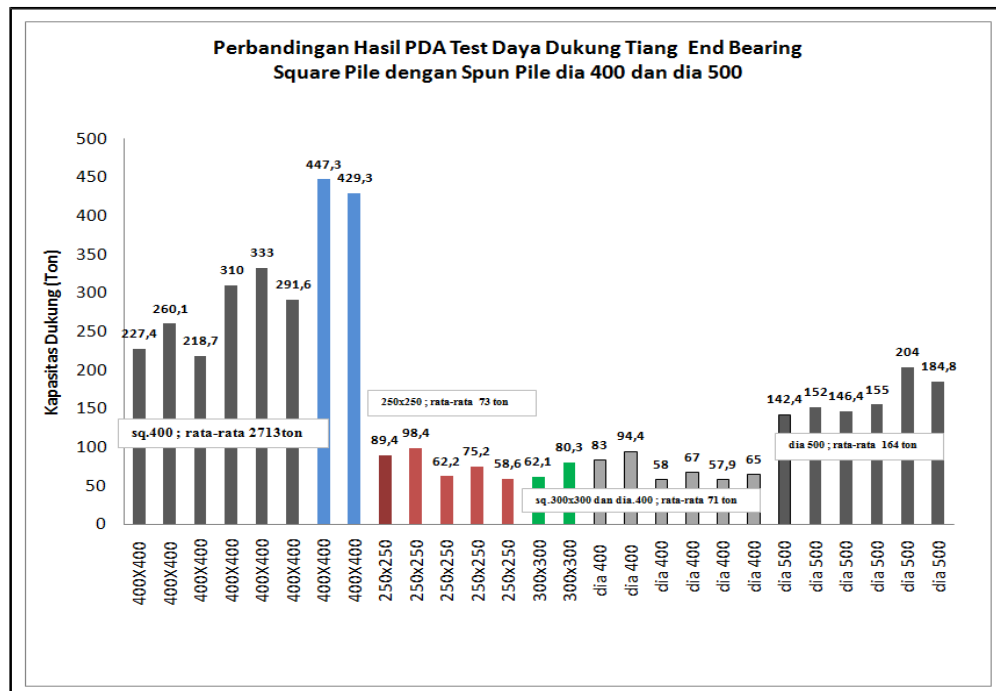
Gambar 5. Daya Dukung Tiang Penampang Bulat

Hasil perhitungan daya dukung aksial tiang *end-bearing* menggunakan data SPT pada salah satu lokasi di Banjarmasin menunjukkan pada tiang segiempat misal 400x400 memiliki daya dukung ultimit tiang hampir sama dengan dimensi tiang penampang bulat dia.450 mm. Hasil perhitungan daya dukung ternyata menyesuaikan dengan luas penampang ekuivalen tiang seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 6. Daya Dukung Tiang Penampang Segiempat

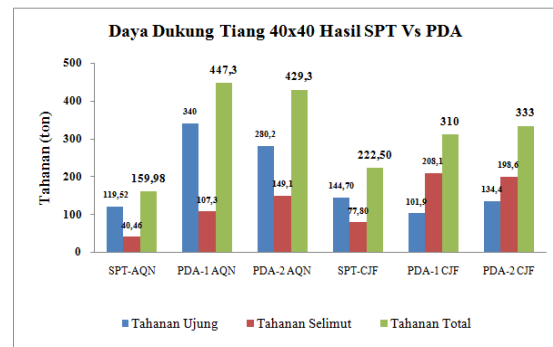
Tiang dimensi 350x350 setara tiang diameter 400 mm. Misal tiang 400x400 luas penampangnya hampir sama atau ekuivalen dengan tiang diameter 450 mm. Hasil perhitungan ini perlu divalidasi dengan hasil uji aksial dengan PDA test yang dilaksanakan pada tiang sebenarnya di lapangan. Seperti hasil PDA test yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil PDA Test Tiang End Bearing di Banjarmasin  
(Sumber:PT.Kalimantan Concrete Engineering,2015)

Hasil PDA Test menunjukkan pada tiang segiempat kapasitas dukung tiang jauh lebih besar daripada tiang penampang bulat. Tiang segiempat 400x400 memiliki daya dukung ultimit 4 sampai 6 kali lipat daripada tiang diameter 400 dan 1.6 kali lebih besar daripada tiang diameter 500. Tiang segiempat 400x400 memiliki daya dukung 3,7 kali dari tiang 250x250. Tiang penampang bulat diameter 400 memiliki daya dukung hampir sama dengan tiang 250x250 dan 300x300. Hal ini berarti daya dukung aktual tiang bulat diameter 400 setara dengan tiang segiempat 250x250 dan 300x300. Sedangkan tiang diameter 500 memiliki daya dukung aksial setara dengan 2,2 kali tiang 250x250. Tiang segiempat 300x300 karena masih sangat sedikit sekali didapatkan data PDA test masih belum terlihat daya dukung tiang *end-bearing* dari beberapa lokasi di Banjarmasin.

Gambar 8 merupakan hasil uji pada lokasi yang sama dengan membandingkan daya dukung tiang hasil PDA dengan hasil perhitungan SPT.



Gambar 8 . Perbandingan hasil SPT dengan PDA

Pada tiang 400x400 perhitungan uji SPT Proyek AQN di Banjarmasin dengan kedalaman tiang tertanam 33 m menghasilkan daya dukung ultimit sebesar 159,98 ton. Ternyata di lokasi ini hasil pengujian PDA test mencapai 447,3 dan 429,3 ton atau 2,7 kali lebih besar daripada perkiraan daya dukung berdasarkan SPT metoda Meyerhoff (1956). Sedangkan Pada tiang 400x400 perhitungan uji SPT Proyek CJF di Banjarbaru dengan kedalaman tiang tertanam 24 m menghasilkan daya dukung ultimit sebesar 222.50 ton. Ternyata di lokasi ini hasil pengujian PDA test mencapai 320 ton atau 1,5 kali lebih

besar daripada perkiraan daya dukung berdasarkan SPT.

Perhitungan biaya pengadaan material franko Banjarmasin dengan membandingkan harga tiang penampang segiempat dengan tiang penampang bulat seperti ditunjukkan Tabel 3.

Tabel 3. Analisa Biaya Pondasi Tiang Penampang Bulat Dan Segiempat

Type Tiang	Harga Tiang per M	Daya Dukung hasil PDA (ton)	Perbandingan Daya Dukung	Harga Tiang per M
Ø 400	Rp 300.000.00	71	1 x tiang 250x250	Rp 170.000.00
Ø 500	Rp 400.000.00	160	0,44 x tiang 400x400	Rp 176.000.00
□ 250x250	Rp 170.000.00	73	1 x tiang Ø 400	Rp 300.000.00
□ 400x400	Rp 400.000.00	360	5 x tiang Ø 400	Rp 1.500.000.00
□ 400x400	Rp 400.000.00	360	2,25 x tiang Ø 500	Rp 900.000.00
Harga Tiang franko Banjarmasin				
Sumber : PT.Kalimantan Concrete Engineering (2016)				

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa terhadap beberapa data PDA test maupun data uji tanah di Banjarmasin menunjukkan bahwa tiang penampang segiempat memiliki daya dukung aksial yang lebih besar daripada tiang penampang bulat. Hasil uji SPT menunjukkan nilai tahanan selimut lebih kecil daripada tahanan ujung. Kenyataannya pada hasil uji PDA nilai tahanan selimut lebih besar daripada tahanan ujung. Pada dimensi tiang yang sama, hasil uji PDA test memberikan daya dukung yang jauh lebih besar dibanding perkiraan hasil SPT. Pemilihan tiang penampang segiempat dibanding tiang bulat akan menghasilkan jumlah titik pancang yang jauh lebih sedikit dan biaya pondasi pasti akan jauh lebih murah. Hal ini akan memberikan efisiensi biaya yang sangat besar pada anggaran biaya pekerjaan pondasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D 4945-96. Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles. ASTM Int. West Conshohocken, PA, (www.astm.org), USA;2000.
- Meyerhof, G. G. (1956). Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soil. ASCEJ Soil Mech Found Div 82:866– 1-19.
- Meyerhof, G. G. (1976). Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations. J Geotech Eng Div 102:195–228.

- Meyerhof, G. G. (1983). Scale Effects of Ultimate Pile Capacity. J Geotech Eng 109:797–806.
- G.E, Likins and F, Rausche (2004). “Correlation of CAPWAP with Static Load Tests”. Proceedings of the Seventh International Conference on the Application of Stresswave Theory to Piles: Petaling Jaya, Selangor, Malaysia.
- PT.Kalimantan Concrete Engineering (2016). Laporan PDA Test Proyek Cheil Jedang Feed Mill Banjarmasin.
- PT.Kalimantan Concrete Engineering (2015). Laporan PDA Test Proyek GAB Banjarmasin.
- PT.Kalimantan Concrete Engineering (2015). Laporan PDA Test Proyek PTTU Banjarmasin.
- PT.Kalimantan Concrete Engineering (2015). Laporan Pda Test Proyek RSUD Banjarmasin.
- Smith (1960), Pile Driving Analysis by The Wave Equation. Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE 1960;98(9):917-37
- Schmertmann, J.H. (1967), “Static Cone Penetrometer for Soil Exploration”, Civil Engineering, 37 (6): 71-73
- Tomlinson, M.J. (1957), “The Adhesion of Piles Driven in Clay Soils”, *Proc. 4th Int. Conf. Soil*, ISSN No: 2319-3484, Volume 2, Issue 3.
- Zacheus, I.; Pengujian Dinamis Daya Dukung Fondasi Tiang dengan Pile Driving Analyzer (PDA). Makalah Seminar Nasional dan Short Course Perkembangan Perencanaan Struktur Bangunan Bertingkat Banyak di Indonesia. Ujung Pandang, 4-6 Maret 1991.